

国家骨干高职院校建设

机电一体化技术专业（能源方向）系列教材

煤矿机电设备电气自动控制

■ 王 娟 温玉春 主编
■ 袁 广 主审

MEIKUANG JIDIAN SHEBIE
DIANQI ZIDONG KONGZHI



化学工业出版社

国家骨干高职院校建设
机电一体化技术专业（能源方向）系列教材

煤矿机电设备电气自动控制

王 娟 温玉春 主 编

王荣华 韩晓雷 刘 璐 张松宇 副主编

袁 广 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍煤矿机械设备的电气自动控制,按照任务引领、项目驱动将全书分为六大任务:矿用电动机基本控制电路的设计、安装及调试,采煤机电气控制系统,液压支架的 PLC 控制程序的设计及调试,矿井运输机械的电气控制,掘进机电控系统的安装、维护与检修及矿井提升设备电气控制系统。

本书是专门针对机电一体化技术专业(能源方向)核心课程煤矿机电设备电气自动控制编写的特色教材,可供各院校相关专业使用和作为煤矿企业机电技术工人的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿机电设备电气自动控制/王娟,温玉春主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 5

国家骨干高职院校建设·机电一体化技术专业(能源方向)
系列教材

ISBN 978-7-122-20030-3

I. ①煤… II. ①王…②温… III. ①煤矿-机电设备-电气
控制系统-教材 IV. ①TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 045707 号

责任编辑:李娜

装帧设计:张辉

责任校对:王素芹

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 347 千字 2014 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

图书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本套系列教材，是内蒙古机电职业技术学院在国家骨干院校建设中的系列成果之一。为适应我国煤炭工业建设和发展的需要，进一步加快高等职业教育教学改革的步伐，满足高素质高级技能型人才培养的要求，机电一体化技术专业（能源方向）深化“理实一体、双境育人”的人才培养模式改革，在重构以知识、能力、素质为一体的课程体系的基础上，配套建设了相应的教材。

本书立足煤炭高等职业教育人才培养目标，按照工学结合的思路，在行业和相关企业专家及本院专业教师的共同反复研讨下，针对煤矿机电设备电气技术岗位，对职业岗位进行职业能力分析，并根据学生的认知规律进行设计编写。

编写时把握高职教育的特点，淡化理论分析，避免公式的推导，教材的编写基于工作过程的需要，体现任务驱动的特点，在每个任务中均提出了知识要点、技能目标、任务描述、任务分析、相关知识、能力体现、操作训练、任务评价等。

本书通过具体的典型案例展示教学内容，通过以学生为主体的教、学、做一体的教学方法实施教学内容，在培养学生掌握相关职业知识、具备与实际工作密切相关的职业能力的同时，注重培养学生的职业素质。

本书主要介绍煤矿机械设备的电气自动控制，按照任务引领、项目驱动将全书分为六大任务：矿用电动机基本控制线路的设计安装及调试、采煤机电气控制系统、液压支架的PLC控制程序设计及调试、矿井运输机械电气控制、掘进机电气自动控制及矿井提升设备电气控制系统。

本书由王娟、温玉春任主编，王荣华、韩晓雷、刘璐、张松宇任副主编。

本书由王娟编写前言和任务四的分任务一；温玉春编写任务一的分任务一和任务三；刘璐编写任务一的分任务二；王荣华编写任务一的任务三、任务二和任务四的分任务二；张松宇编写任务五；韩晓雷编写任务六；王旭元编写任务一的能力体现部分；张国瑞编写任务二的能力体现部分。本书由袁广主审。本书在编写过程中，得到了神东天隆集团有限责任公司侯玉和神华北电胜利能源有限责任公司张华明大力帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

任务一 矿用电动机基本控制电路的设计、安装及调试	1
分任务一 电动机正反转控制电路的安装与调试	1
一、常用低压电气元件的识别与选用	1
二、电气控制系统图的绘制原则	13
三、三相异步电动机的基本控制电路分析	15
分任务二 单台电动机启动-制动控制电路的设计、安装及调试	24
一、电动机启动控制方式	24
二、电动机的制动控制方式	31
分任务三 两台电动机顺序启停控制电路的设计、安装及调试	39
一、PLC 的类型及结构	40
二、PLC 的工作原理	47
三、认识 S7-200 PLC	51
四、PLC 的基本指令及应用	60
任务二 采煤机电气控制系统	83
分任务一 6LS5 直流电牵引采煤机的电气控制	83
一、6LS5 直流电牵引采煤机电气控制系统结构及功能	84
二、采煤机电气系统工作原理	88
三、6LS5 型采煤机的图形显示、使用	100
分任务二 MGTY400/900-3.3D 采煤机的电气控制	105
一、MGTY400/900-3.3D 型采煤机电气控制系统结构及功能	106
二、电气系统工作原理	108
任务三 液压支架的 PLC 控制程序的设计及调试	124
分任务一 液压支架的结构和工作过程认知	124
一、液压支架的组成	124
二、液压支架自动移设的原理	125
分任务二 液压支架的电液控制系统分析	127
一、支架电液控制系统的组成	127
二、支架电液控制系统的控制原理	130
三、电液控制系统的主要功能	131
四、电液控制系统的故障类型	135
分任务三 PLC 顺序控制程序设计方法	139
一、顺序功能图	139
二、顺序控制梯形图的设计方法	145
任务四 矿井运输机械的电气控制	155
分任务一 带式、链式输送机电气控制系统	155

一、带式输送机的配电要求	155
二、输送机的单独控制原理	156
三、输送机的集中控制原理	156
四、带式输送机的维修与维护	162
分任务二 矿用电机车电气控制系统	166
一、矿用电机车有触点电控系统	167
二、矿用电机车无触点调速系统	172
三、电机车有触点电控系统的维护检修	179
四、电机车无触点电控系统的维护检修	180
任务五 掘进机电控系统的安装、维护与检修	183
一、AM50 型掘进机电控系统	183
二、电气保护装置及安全特点	183
三、操作过程	188
四、工作流程	188
五、掘进机电气维护	190
六、掘进机电气系统常见故障与处理	191
任务六 矿井提升设备电气控制系统	193
分任务一 提升绞车控制系统概述	193
一、矿井提升机系统基础知识	194
二、基于 PLC 和变频器的提升绞车控制原理	196
分任务二 TKD 单绳提升机交流电气控制系统的组成及工作原理	199
一、TKD-A 单绳交流提升机电控系统的组成	199
二、TKD 单绳交流提升机电控系统各环节工作原理	200
分任务三 矿井提升机交流 TKD 电控系统的工作过程	211
一、TKD 单绳交流提升机电控系统的启动、加速控制	212
二、TKD 单绳交流提升机电控系统的等速、减速控制阶段工作过程	212
参考文献	217

任务一 矿用电动机基本控制电路的设计、安装及调试

分任务一 电动机正反转控制电路的安装与调试

知识要点

- (1) 常用低压电器的识别。
- (2) 认识电气控制系统图。
- (3) 电动机基本控制电路的分析。

技能目标

- (1) 能识别常用低压电器。
- (2) 能正确识读电气控制线路图。
- (3) 能根据原理图装接实际电路并进行调试。
- (4) 能利用万用表检查电气元件、主电路、控制电路并根据检查结果或故障现象判断故障位置。
- (5) 能够对操作过程进行评价，具有独立思考能力、分析判断与决策能力。

任务描述

生产实际中，要求运动部件能够向两个方向运动的情况比较多，例如矿井提升机的上升和下降、采煤机向左牵引和向右牵引等都是电动机正反转控制的应用。根据电动机正反转控制原理图，安装实际电路并进行调试。

一、常用低压电气元件的识别与选用

在电能的产生、输送、分配和应用中，起着开关、控制、调节和保护作用的电气设备称为电器。常用的低压电器是指工作在交流电压 1200V、直流电压 1500V 以下的电器。

(一) 刀开关和自动空气开关

刀开关和自动空气开关都可以用来隔离电源，所以又称它们为隔离开关。

1. 刀开关

刀开关是一种手动电器，用于不频繁地接通和分断交直流电路。刀开关的结构如图 1-1 所示。

(1) 刀开关的结构与型号 它主要有与操纵手柄相连的动触点、静触点、刀座、进线及出线接线座，这些导电部分都固定在瓷底板上，且用胶盖盖着，所以当闸刀合上时，操作人员不会触及带电部分。

刀开关的型号含义及电气符号如图 1-2 所示。

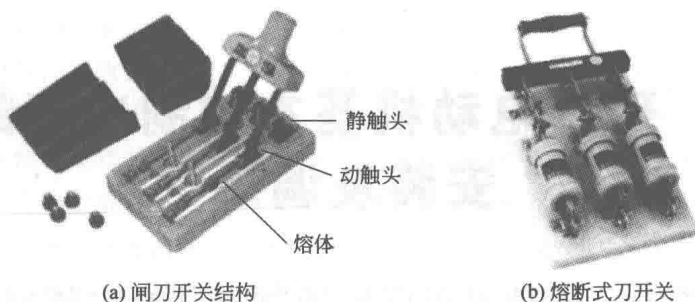


图 1-1 刀开关的结构

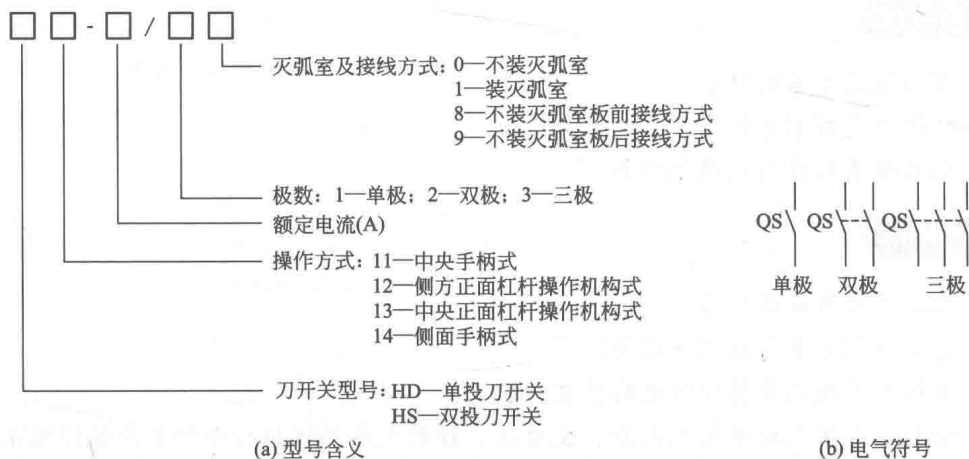


图 1-2 刀开关的型号含义及电气符号

(2) 刀开关的主要技术参数与选择 刀开关种类很多, 有两极 (额定电压 250V) 和三极 (额定电压 380V) 的刀开关, 额定电流有 10~100A 不等。

① 用于照明电路时可选用额定电压 220V 或 250V、额定电流等于或大于电路最大工作电流的两极开关。

② 用于电动机的直接启动, 可选用额定电压为 380V 或 500V、额定电流等于或大于电动机额定电流 3 倍的两极开关。

(3) 刀开关的安装与使用

① 电源进线应装在静插座上, 而负荷应接在动触点一边的出线端。这样, 当开关断开时, 闸刀和熔丝上不带电。

② 刀开关必须垂直安装在控制屏或控制板上, 不能倒装, 即接通状态时手柄朝上, 否则有可能在分断状态时闸刀开关松动落下, 造成误接通。

③ 负荷较大时, 为防止出现闸刀开关本体相间短路, 可与熔断器配合使用。闸刀本体不再装熔丝, 在应装熔丝的接点上安装与线路导线截面相同的铜线。

2. 自动空气开关

自动空气开关又称低压断路器, 在电气线路中起接通、断开和承载额定工作电流的作用, 并能在线路和电动机发生过载、短路、欠电压的情况下进行可靠的保护。可以手动操作也可以电动操作, 还可以远方遥控操作。其外形如图 1-3 所示。

(1) 自动空气开关的结构及工作原理 自动空气开关的主要由触点系统、灭弧装置、



图 1-3 低压断路器外形

机械传动机构和保护装置组成。自动空气开关的保护装置由各种脱扣器来实现，脱扣器的形式有电流脱扣器、热脱扣器、欠压脱扣器等。图 1-4 所示为自动空气开关的结构示意图。

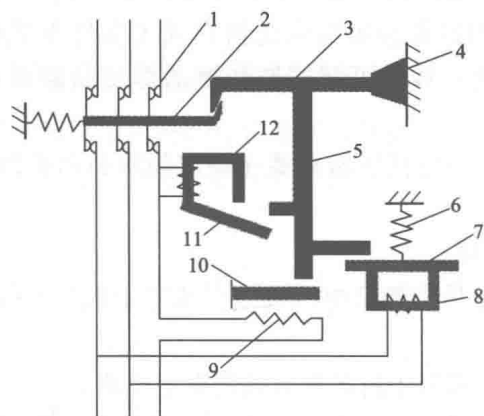


图 1-4 自动空气开关的结构示意

1—主触点；2,3—自由脱扣结构；4—轴；5—杠杆；6—弹簧；7,11—衔铁；
8—欠电压脱扣器；9—热脱扣器；10—双金属片；12—过电流脱扣器

① 过电流脱扣器。过电流脱扣器 12 的线圈与被保护电路串联。线路中通过正常电流时，衔铁 11 不能被电磁铁吸合，断路器正常运行。当线路中出现短路故障时，衔铁被电磁铁吸合，通过传动机构推动自由脱扣机构释放主触头。主触头在分闸弹簧的作用下分开，切断电路起到短路保护作用。

② 热脱扣器。热脱扣器 9 与被保护电路串联。线路中通过正常电流时，发热元件发热使双金属片弯曲至一定程序（刚好接触到传动机构）并达到动态平衡状态，双金属片不再继续弯曲。若出现过载现象时，电路中电流增大，双金属片将继续弯曲，通过传动机构推动自由脱扣机构释放主触头，主触头在分闸弹簧的作用下分开，切断电路起到过载保护的作用。

③ 欠压脱扣器。欠压脱扣器 8 并联在断路器的电源侧，可起到欠压及零压保护的作用。电源电压正常时，电磁铁得电，衔铁被电磁铁吸住，自由脱扣机构才能将主触头锁定在合闸位置，断路器投入运行。当电源侧停电或电源电压过低时，衔铁释放，通过传动机构推动自由脱扣机构使断路器掉闸，起到欠压及零压保护的作用。

在一台低压断路器上同时装有两种或两种以上脱扣器时,称这台低压断路器装有复式脱扣器。

(2) 自动空气开关的型号含义和电气符号 如图 1-5 所示。

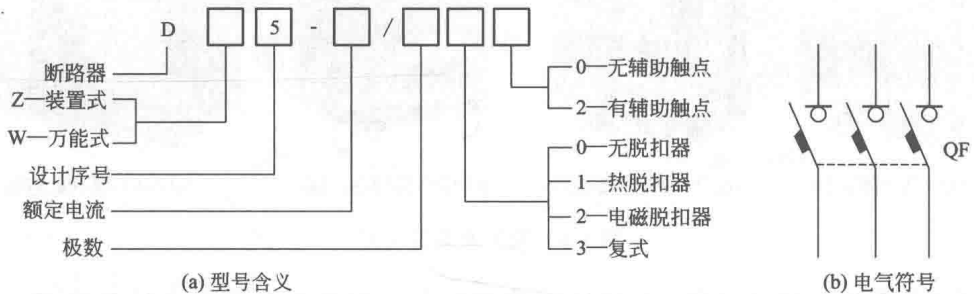


图 1-5 自动空气开关型号含义和电气符号

(3) 主要技术参数

① 额定电压: 低压断路器的额定电压是指与通断能力及使用类别相关的电压值。

② 额定电流: 低压断路器的额定电流是指在规定条件下低压断路器可长期通过的电流, 又称为脱扣器额定电流。对带可调式脱扣器的低压断路器而言, 是可长期通过的最大电流。

③ 额定短路分断能力: 是指低压断路器在额定频率和功率因数等规定条件下, 能够分断的最大短路电流值。

(4) 自动空气开关的选用

① 低压断路器的额定电压和额定电流应大于或等于被保护线路的正常工作电压和负载电流。

② 热脱扣器的整定电流应等于所控制负载的额定电流。

③ 过电流脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载正常工作时可能出现的峰值电流。用于控制电动机的低压断路器, 其瞬时脱扣整定电流:

$$I_Z = K I_{st}$$

式中, K ——安全系数, 可取 1.5~1.7; I_{st} ——电动机的启动电流。

④ 欠压脱扣器额定电压应等于被保护线路的额定电压。

⑤ 低压断路器的极限分断能力应大于线路最大短路电流的有效值。

3. 组合开关

组合开关又称转换开关, 组合开关由多节触点组合而成, 是一种手动控制电器。组合开关常用来作为电源的引入开关, 也用来控制小型的笼型异步电动机启动、停止及正反转。

(1) 组合开关的结构及工作原理 图 1-6(a)、1-6(b) 所示为组合开关的外形及结构示意图。它的内部有三对静触点, 分别用三层绝缘板相隔, 各自附有连接线路的接线柱。三个动触点(刀片)相互绝缘, 与各自的静触点相对应, 套在共同的绝缘杆上。绝缘杆的一端装有操作手柄, 转动手柄, 变换三组触点的通断位置。组合开关内装有速断弹簧, 以提高触点的分断速度。

(2) 组合开关的型号和电气符号 组合开关的种类很多, 常用的是 HZ10 系列, 额定电压为交流 380V, 直流 220V, 额定电流有 10A、25A、60A 及 100A 等。不同规格型号的组

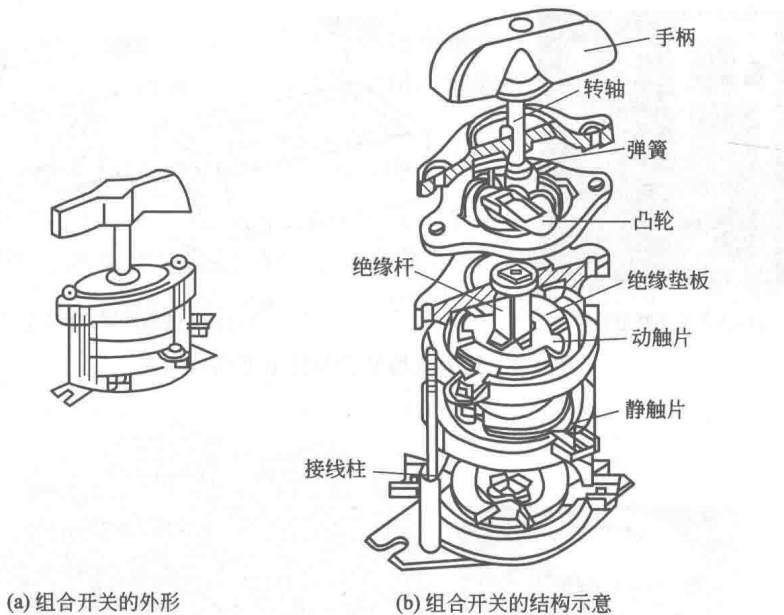


图 1-6 组合开关的外形及结构示意图

合开关，各对触片的通断时间不一定相同，可以是同时通断，也可以是交替通断，应根据具体情况选用。组合开关的型号和电气符号如图 1-7 所示。

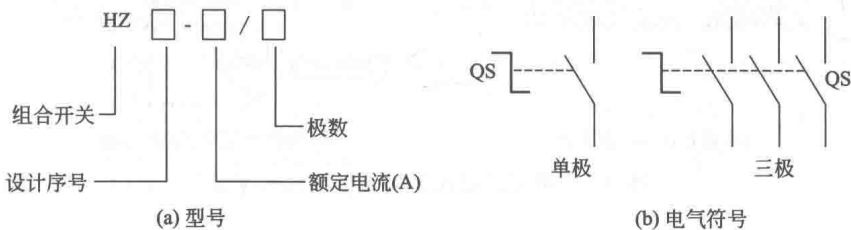


图 1-7 组合开关的型号及电气符号

(二) 熔断器

熔断器是一种当电流超过规定值一定时间后，以它本身产生的热量使熔体熔化而分断电路的电器，也可以说它是一种利用热效应原理工作的电流保护电器。熔断器串接于被保护电路中，能在发生短路或严重过电流时快速自动熔断，从而切断电路电源，起到保护作用。

1. 结构与分类

熔断器由熔断管（座）、熔断体、填料、导电部件组成。其外形如图 1-8 及 1-9 所示。
熔断器按结构形式可分为瓷插式、螺旋式、无填料封闭管式、有填料封闭管式等类别。熔断器的型号含义和电气符号如图 1-10 所示。

2. 主要技术参数

- (1) 熔断器额定电流 指保证熔断器能长期安全工作的额定电流。
- (2) 熔断体额定电流 在正常工作时熔断体不熔断的工作电流。

3. 熔断器的选择

- (1) 电阻性负载或照明电路。一般按负载额定电流的 1~1.1 倍选用熔断体的额定电流，

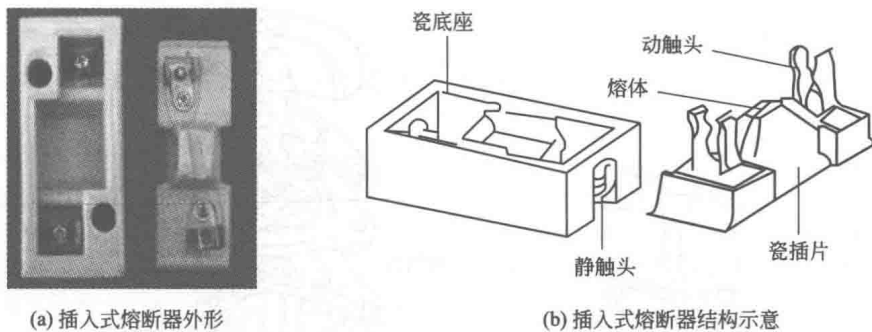


图 1-8 插入式熔断器的外形及结构示意图

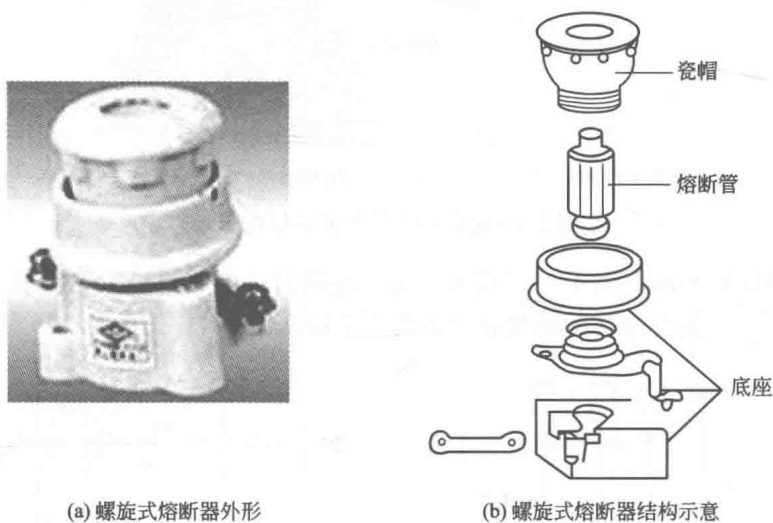


图 1-9 螺旋式熔断器的外形及结构示意图

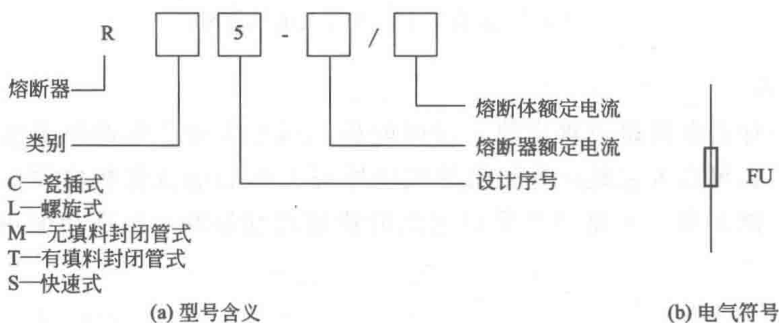


图 1-10 熔断器的型号含义及电气符号

进而选定熔断器的额定电流。

(2) 电动机控制电路。对于单台电动机，一般选择熔断体的额定电流为电动机额定电流的 1.5~2.5 倍；对于多台电动机，熔断体的额定电流应大于或等于其中最大容量电动机额定电流的 1.5~2.5 倍再加上其余电动机的额定电流之和。

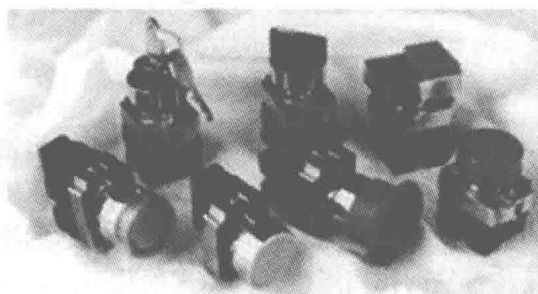
(3) 为防止发生越级熔断，上、下级（供电干线、支线）熔断器间应有良好的协调配合，为此，应使上一级（供电干线）熔断器的熔断体额定电流比下一级（供电支线）大 1~2 个级差。

(三) 按钮和行程开关

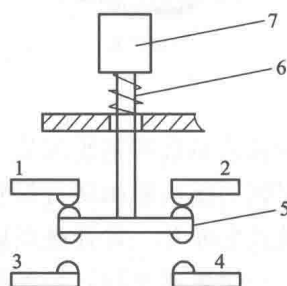
按钮和行程开关都属于主令电器，主要用来发出指令，使接触器和继电器动作，从而接通或断开控制电路。主令电器按其作用可分为按钮、行程开关和接近开关。

1. 按钮

(1) 按钮的结构和工作原理 按钮的外形和结构示意图如图 1-11 所示，按钮主要由按钮帽、复位弹簧、常闭触点、常开触点和外壳等组成。当按下按钮帽时，常闭触点先断开，常开触点后闭合；当松开按钮帽时，触点在复位弹簧作用下恢复到原来位置，常开触点先断开，常闭触点后闭合。按用途和结构的不同，按钮可分为启动按钮、停止按钮和组合按钮等。



(a) 按钮的外形



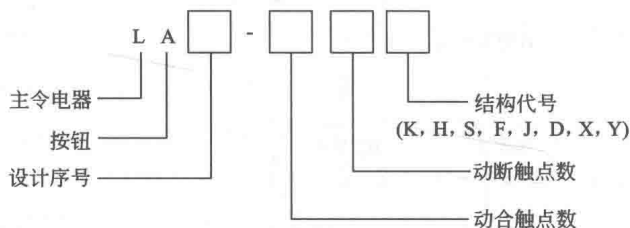
(b) 按钮的结构示意

图 1-11 按钮的外形及结构示意图

1,2—常闭触点；3,4—常开触点；5—桥式触点；6—复位弹簧；7—按钮帽

(2) 按钮的型号和电气符号 常见的按钮有 LA 系列和 LAY 系列。LA 系列按钮的额定电压为交流 500V、直流 440V，额定电流 5A；LAY 系列按钮的额定电压为交流 380V、直流 220V，额定电流为 5A。按钮帽有红、绿、黄、白等颜色，一般红色作停止按钮，绿色作启动按钮。

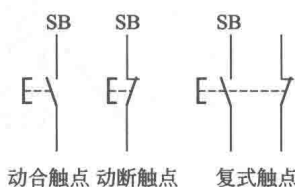
按钮的型号含义及电气符号如图 1-12 所示。



结构代号含义：

K—开启式；H—保护式；S—防水式；F—防腐式；
J—紧急式；D—带指示灯式；X—旋钮式；Y—钥匙式

(a) 型号含义



(b) 电气符号

图 1-12 按钮的型号含义和电气符号

2. 行程开关

(1) 行程开关的结构及工作原理 行程开关的外形如图 1-13 所示，行程开关又称位置开关或限位开关，其作用是将机械位移转换成电信号，使电动机运行状态发生改变，即按一定行程自动停车、反转、变速或循环、进行终端限位保护。行程开关的结构和工作原理与按钮相同，不同的是行程开关不是靠手的按压，而是利用生产机械运动部件的撞块碰压而使触

点动作。



图 1-13 行程开关的外形

行程开关常装设在基座的某个预定位置，其触点接到有关的控制电路中。当被控对象运动部件上安装的撞块碰压到行程开关的推杆（或滚轮）时，推杆（或滚轮）被压下，行程开关的常闭触点先断开，常开触点后闭合，从而断开和接通有关控制电路，以达到控制生产机械的目的。当撞块离开后，行程开关在复位弹簧的作用下恢复到原来的状态。

(2) 行程开关的型号和电气符号 行程开关的种类很多，可分为直动式（如 LX1、JLXK1 系列）、滚轮式（如 LX2、JLXK2 系列）和微动式（如 LXW.11、JLXK1.11 系列）三种。通常行程开关的触头额定电压 380V，额定电流 5A。行程开关的符号含义及电气符号如图 1-14 所示。

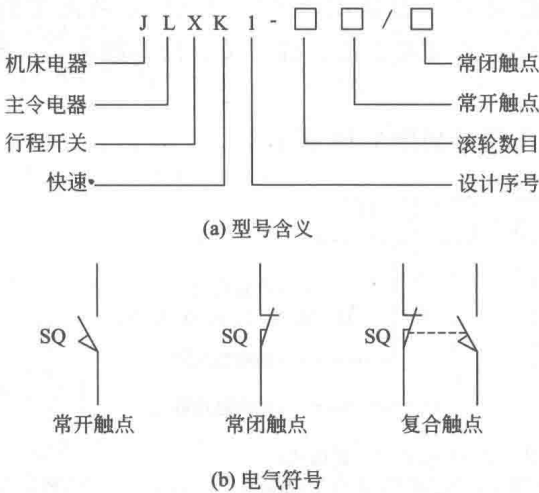


图 1-14 行程开关的型号含义和电气符号

3. 接近开关

接近开关是一种无接触式物体检测装置。当某种物体与之接近到一定距离时就发出“动作”信号，它不需要施以机械力。接近开关的用途除了像一般的行程开关一样做行程开关和限位开关外，还可以用于高速计数、测速、液面控制、检测金属体的存在、检测零件尺寸、用作无触点按钮及用作计算机或可编程控制器的传感器等。

接近开关由感应头、高频振荡器、放大器和外壳组成。当运动部件与接近开关的感应头

接近时,就使其输出一个电信号,使其动合触点闭合,动断触点断开。常见接近开关的外形和电气符号如图 1-15 所示。

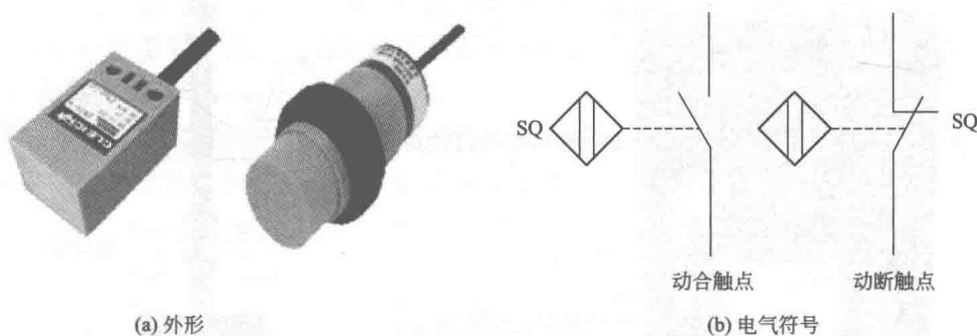


图 1-15 接近开关的外形及电气符号

(四) 接触器

接触器是适用于远距离频繁接通或断开交、直流电路的一种自动控制电器。主要控制对象是电动机,也可以用于控制其他电力负载如电热器、电照明、电焊机与电容器组等。接触器具有操作频率高、使用寿命长、工作可靠、性能稳定、维护方便等优点,同时还具有低压释放保护功能,因此,在电力拖动和自动控制系统中,接触器是运用最广泛的控制电器之一。常见接触器的外形如图 1-16 所示。

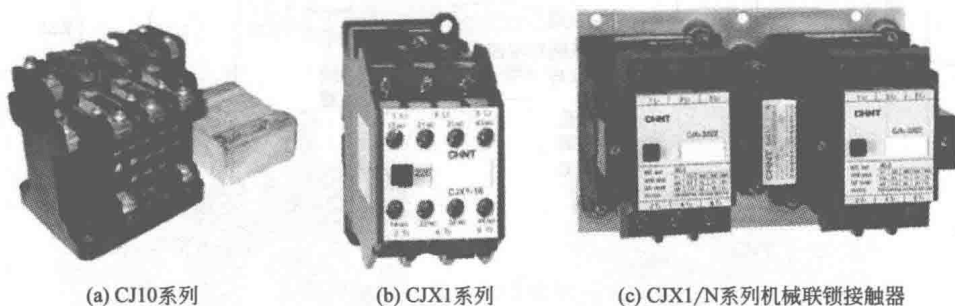


图 1-16 接触器的外形

1. 接触器的结构

接触器主要由电磁机构、触头系统及灭弧装置三部分组成。电磁机构包括线圈、铁芯和衔铁,是接触器的重要组成部分,依靠它带动触点实现闭合和断开。接触器通常有 3 对主触点,2 对辅助常开触头和 2 对辅助常闭触头,如图 1-17 所示。辅助触头的额定电流为 5A,低压接触器的主、辅触头的额定电压均为 380V。

2. 接触器的工作原理

如图 1-17 所示,当接触器的线圈通电后,在铁芯中产生磁通及电磁吸力,此电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合,带动触点机构动作,使常闭触点先断开,常开触点后闭合,分断或接通相关电路。反之线圈失电时,电磁吸力消失,衔铁在反作用弹簧的作用下释放,各触点随之复位。

3. 接触器的型号与符号

常用的交流接触器有 CJ20、CJX1、CJX2 等系列,直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ10 等系列,接触器的型号含义和电气符号如图 1-18 所示。

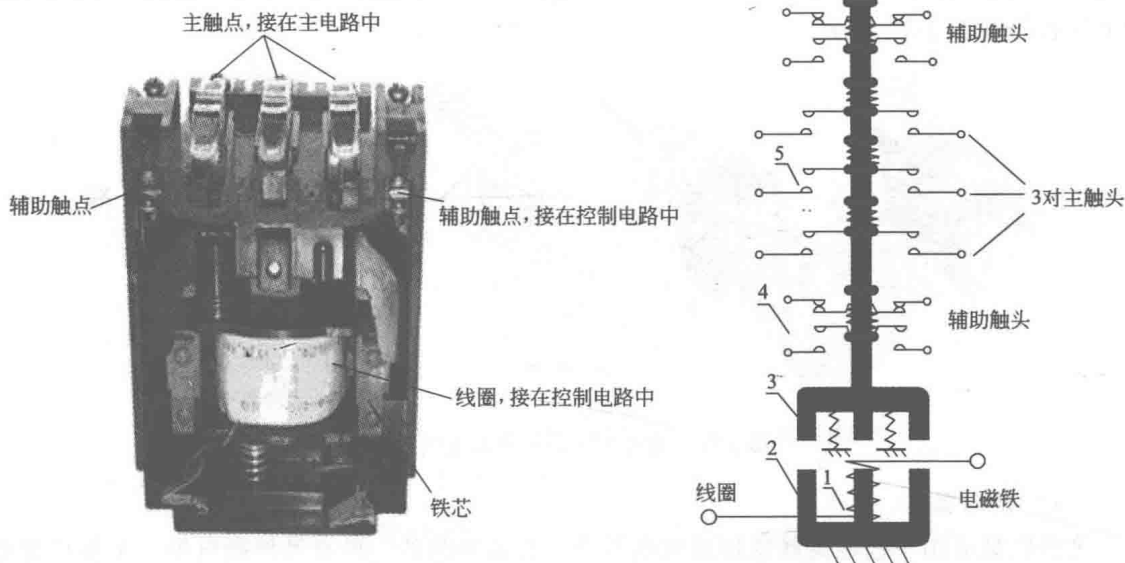


图 1-17 交流接触器结构

1—线圈；2—铁芯；3—衔铁；4—辅助触点；5—主触点

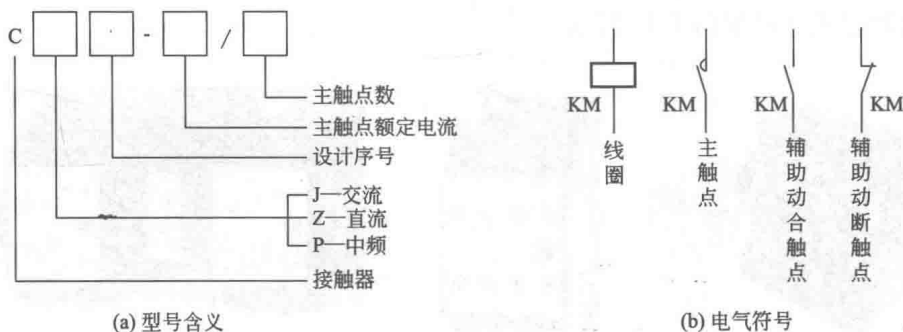


图 1-18 接触器的型号含义和电气符号

4. 接触器的主要技术参数

(1) 额定电压 额定电压是指接触器铭牌上的主触头的电压。交流接触器的额定电压一般为 220V、380V、660V 及 1140V；直流接触器的额定电压一般为 220V、440V 及 660V。辅助触点的常用额定电压交流接触器为 380V，直流接触器为 220V。

(2) 额定电流 接触器的额定电流是指接触器铭牌上的主触头的电流。接触器电流等级为：6A、10A、16A、25A、40A、60A、100A、160A、250A、400A、600A、1000A、1600A、2500A 及 4000A。

(3) 线圈额定电压 接触器吸引线圈的额定电压交流接触器有 36V、110V、117V、220V、380V 等；直流接触器有 24V、48V、110V、220V、440V 等。

(4) 额定操作频率 交流接触器的额定操作频率是指接触器在额定工作状态下每小时通、断电路的次数。交流接触器一般为 300 次/h~600 次/h，直流接触器的额定操作频率比交流接触器的高，可达到 1200 次/h。

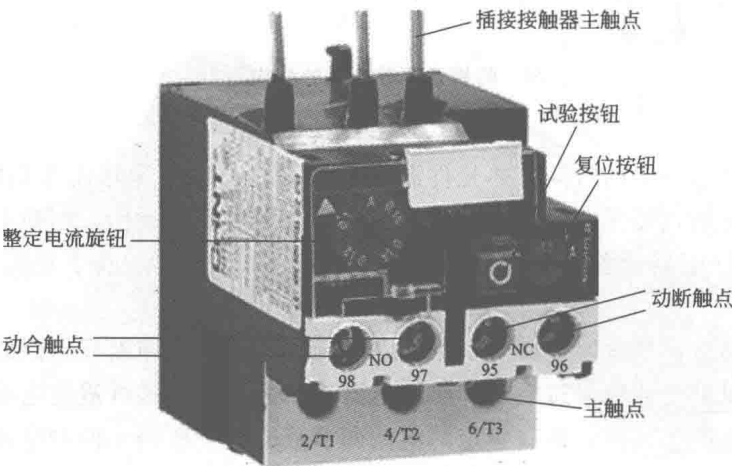
5. 接触器的选用

(1) 接触器主触点的额定电压应大于或等于被控电路的额定电压。

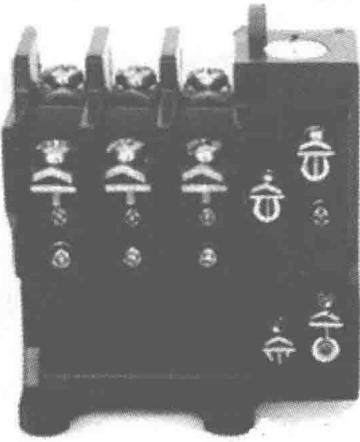
- (2) 接触器主触点的额定电流应大于或等于 1.3 倍的电动机的额定电流。
- (3) 根据接触器线圈额定电压选择。
- (4) 根据接触器的触头数量、种类应满足控制线路要求。
- (5) 根据操作频率选择。交流接触器最高为 600 次/h，直流接触器可达 1200 次/h。

(五) 热继电器

热继电器是利用电流的热效应来推动动作机构，使触头系统闭合或分断的保护电器。其主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡运行的保护。热继电器的外形如图1-19所示。



(a) JR36系列热继电器外形



(b) JR16系列热继电器外形



(c) JR20系列热继电器外形

图 1-19 热继电器的外形

1. 热继电器结构及工作原理

目前使用的热继电器有两相和三相两种类型。图 1-20 所示为两相式热继电器的结构，主要由热元件、双金属片和触点组成。热元件由发热电阻丝做成；双金属片由两种膨胀系数不同的金属碾压而成，当双金属片受热时，会出现完全变形。

使用时，热继电器的热元件应串接在主电路中，常闭触点应接在控制电路中。当电动机正常工作时，双金属片受热而膨胀弯曲的幅度不大，常闭触点闭合。当电动机过载后，通过